

# Relation entre le mouvement de la membrane d'un haut-parleur et la tension aux bornes d'un microphone

par René ALLARD  
Lycée Bergson - 49036 Angers Cedex

---

## 1. BUT

1. Élaboration d'un signal périodique complexe par addition de trois signaux carrés générés par un diviseur de fréquence.
2. Analyse du son émis par un haut-parleur alimenté par un courant variant comme le signal complexe obtenu précédemment.
3. Interprétation des courbes représentant, en fonction du temps, la tension aux bornes du microphone, le déplacement et la vitesse de la membrane du haut-parleur. Les caractéristiques du H.P. étant connues, le déplacement et la vitesse de sa membrane sont déterminées en résolvant les équations du mouvement de sa bobine à l'aide d'un logiciel de résolution des équations différentielles.

## 2. MONTAGE

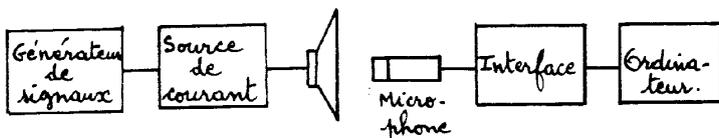


Figure 1

### 2.1. Le générateur de signaux complexes

Il met en œuvre un compteur-diviseur CD 4040 (figure 2). Le CD 4040 qui reçoit sur son entrée «10» une tension carrée  $u^0$  de fréquence  $N^0$ , fournie par un générateur B.F., délivre sur les sorties 5,

3 et 2 des tensions carrées de fréquences respectives  $N_1^0$ ,  $N_2^0 = \frac{N_1^0}{2}$  et  $N_3^0 = \frac{N_1^0}{4}$  avec  $N_1^0 = \frac{N^0}{16}$ .

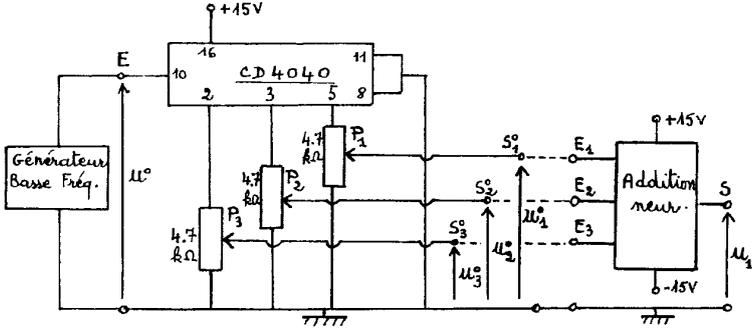


Figure 2

Des potentiomètres  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$  permettent de régler l'amplitude des trois tensions de base, carrées,  $u_1^0$ ,  $u_2^0$  et  $u_3^0$  disponibles sur les sorties  $S_1^0$ ,  $S_2^0$  et  $S_3^0$ . Un additionneur construit autour d'un amplificateur opérationnel délivre une tension  $u_1 = u_1^0 + u_2^0 + u_3^0$ . Sur la figure 3 sont représentées les tensions  $u_1^0$ ,  $u_2^0$  et  $u_3^0$  de même amplitude, ainsi que la tension  $u_1$  qui va être utilisée dans les expériences.

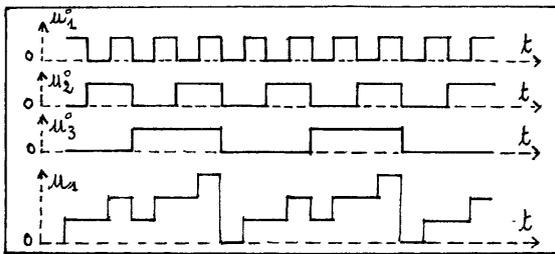


Figure 3

## 2.2. Le haut-parleur

Le mouvement de sa bobine doit être faiblement amorti afin que l'on puisse obtenir des trains d'oscillations suffisamment nombreuses lors d'une excitation par une tension ou un courant rectangulaire.

Les expériences ont été réalisées en alimentant le H.P. soit par une source de courant à fort débit [1], soit par une source de tension réalisée avec un ampli. op. de puissance (ex : TDA 2006) [2]. La source de courant commandée par la tension  $u_1$ , permet d'imposer un courant d'intensité  $i_1$  proportionnelle à  $u_1$ . Avec la source de tension, c'est une tension proportionnelle à  $u_1$  qui est imposée au H.P.

Quelle que soit la nature de l'alimentation du H.P., les signaux mis en œuvre ont une fréquence très basse.

### 2.3. Le microphone

Ses caractéristiques sont indiquées sur la figure 4.

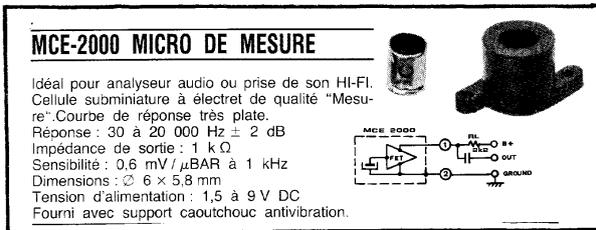


Figure 4

### 2.4. Matériel informatique

- Interface ESAO 3 (Jeulin) pilotée par le logiciel LABO (langage et Informatique),
- Logiciel de résolution des équations différentielles EQUADIFF (Microlambda).

On enregistre les valeurs de la tension  $u_1$  et celles de la tension  $u_2$  aux bornes du microphone (1 000 valeurs).

## 3. HAUT-PARLEUR EXCITÉ PAR UN COURANT RECTANGULAIRE DE TRÈS BASSE FRÉQUENCE

### 3.1. Résultats expérimentaux (figure 5-a)

La tension aux bornes du microphone a la même fréquence que le courant alimentant le H.P., mais sa forme est différente : les brusques variations du courant alimentant le H.P. engendrent des trains d'oscilla-

tions amorties. On constate que la membrane du H.P. continue à émettre des vibrations sonores lorsque l'intensité du courant dans le H.P. est constante, et même lorsqu'elle est nulle.

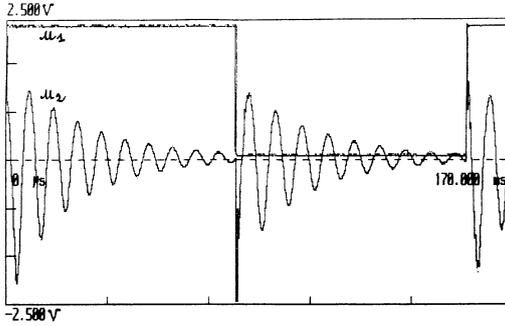


Figure 5-a

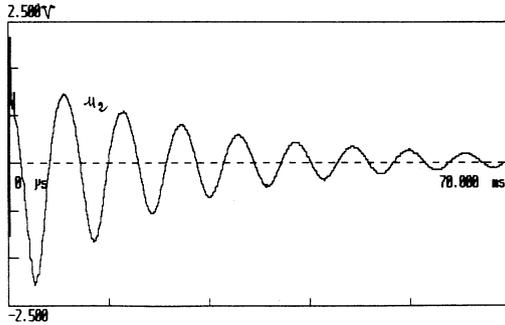


Figure 5-b

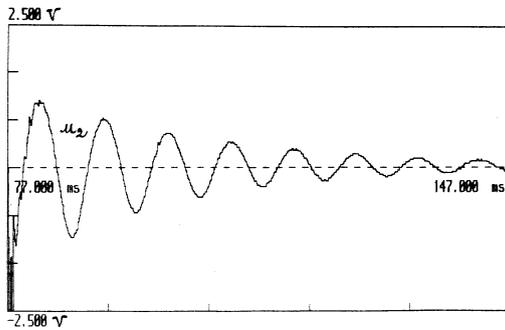


Figure 5-c

### 3.2. Exploitation des enregistrements

Les figures 5-b et 5-c sont des agrandissements de la figure 5-a. Elles correspondent respectivement aux valeurs maximale et minimale de l'intensité du courant dans le H.P.

Nous allons supposer qu'au cours d'une autre expérience la période  $T_0$  des oscillations propres du H.P., produites par exemple par le choc d'une boule de papier sur sa membrane, a été déterminée.

Le travail sur document qui peut alors être demandé aux élèves d'un lycée est :

- détermination de la période du courant imposé au H.P.,
- détermination des pseudo-périodes  $T$  et  $T'$  des oscillations correspondant aux valeurs maximale et minimale du courant dans le H.P.,
- comparaison de  $T$ ,  $T'$  et  $T_0$ .

### 3.3. Interprétation des résultats

- Intensité du courant imposé au H.P. :  $i_1 = K u_1$ ,  $K$  constante.
- Force électromagnétique imposée à la bobine du H.P. :  $F = K' i_1 = K K' u_1$ ,  $K'$  étant une autre constante.
- De brusques variations de la tension  $u_1$ , donc de la force  $F$ , font naître des trains d'oscillations amorties. Le comportement de la bobine du H.P. peut être comparé, en première approximation, à celui d'un solide, suspendu à un ressort vertical : si on impose à l'extrémité supérieure du ressort un mouvement avec des à-coups, on voit le solide s'animer d'un mouvement oscillatoire chaque fois que se produit un à-coup.
- Lorsque le courant s'annule, la bobine, qui possède de l'énergie mécanique, continue à osciller avec une pseudo-période  $T'$  égale à sa période propre  $T_0$  ; l'amortissement des oscillations est dû principalement à l'action exercée par l'air sur la membrane du H.P.
- Lorsque la valeur  $i_1$  du courant est maximale, et reste maximale pendant une demi-période, la bobine oscille autour d'une position qui n'est pas sa position de repos ; la tension moyenne de la suspension élastique étant différente de celle correspondant à la position de repos de la bobine, on comprend pourquoi la période  $T$  des oscillations est un peu différente de  $T_0$  :  $\frac{T - T_0}{T_0} = -10\%$  environ. La suspension élasti-

que d'un H.P. ne peut pas être modélisée, en toute rigueur, par un ressort de raideur constante.

#### 4. HAUT-PARLEUR EXCITÉ PAR UNE TENSION PÉRIODIQUE, DE FORME COMPLEXE

##### 4.1. Expérience

Une tension  $u_1$  (figure 6) est imposée aux bornes du H.P. par un amplificateur opérationnel de puissance.

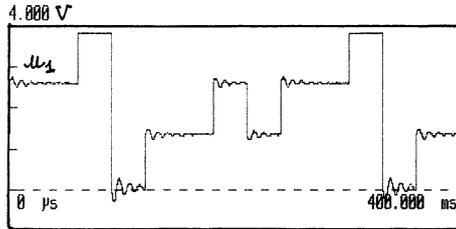


Figure 6

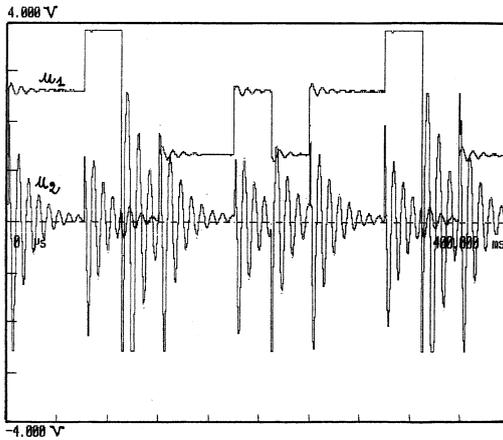


Figure 7

##### 4.2. Analyse de la réponse du microphone

La tension  $u_2$  aux bornes du microphone, représentée sur la figure 7, montre que des trains de vibrations sonores sont générés chaque fois que la tension  $u_1$  aux bornes du H.P. varie brusquement. Cette expé-

rience confirme le fait que la réponse du microphone peut avoir une forme très différente de celle du signal, courant ou tension, qui entretient les vibrations du H.P.

#### 4.3. Amortissement d'un H.P. et haute-fidélité

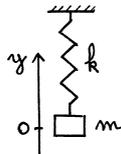
Si on recommence les expériences précédentes avec une enceinte Hi Fi on constate que les trains d'oscillations s'amortissent très rapidement et qu'ils ne comportent que quelques oscillations. Pour obtenir une restitution satisfaisante des signaux sonores présentant une grande dynamique, il faut en effet que la bobine puisse réagir, sans osciller, aux brusques variations de la tension appliquée à l'enceinte Hi Fi ; le mouvement de la bobine doit donc être suffisamment amorti.

### 5. VITESSE DE LA BOBINE DU H.P. ET TENSION AUX BORNES DU MICROPHONE

**Objectifs** : Élaboration, par le professeur, à l'aide d'un logiciel de résolution des équations différentielles, d'un document permettant de montrer aux élèves :

- des courbes visualisant le déplacement et la vitesse de la bobine du H.P. au cours du temps,
- l'influence de l'amortissement du mouvement de la bobine du H.P. sur la forme du signal sonore émis par le H.P.,
- que le signal détecté par le microphone varie comme la vitesse de la bobine du H.P.

#### 5.1. Équation différentielle du mouvement de la bobine du H.P.



L'équipage mobile du H.P. est modélisé par un solide de masse  $m$  suspendu à un ressort de raideur  $k$ . On suppose que le H.P. est alimenté par une source de courant qui lui impose un courant d'intensité  $i$  ; la force qui fait vibrer la bobine du H.P. est  $F = Bli$ . On admet que l'amortissement des oscillations est dû à une force  $f = -hv$ ,  $h$  étant une constante positive. Équation différentielle du mouvement :

$$m\ddot{y} + h\dot{y} + ky = F \quad (1)$$

On pose :

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} \text{ et } 2\alpha = \frac{h}{m}$$

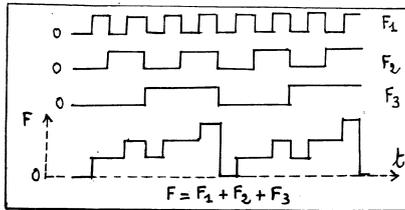
On obtient :

$$\ddot{y} = -2\alpha \dot{y} - \omega_0^2 y + \frac{F}{m} \quad (2)$$

**Caractéristiques du H.P.** utilisé dans les expériences :

$$N_0 = 116 \text{ Hz} ; \omega_0 = 729 \text{ rad.s}^{-1} ; \alpha = 94 ; Bl = 2,5 \text{ T.m} ; m = 5 \text{ g.}$$

### 5.2. Force imposée à la bobine, $F = Bli$



La force  $F$  est la somme de trois composantes de même amplitude et de fréquences  $N$ ,  $\frac{N}{2}$  et  $\frac{N}{4}$ . La source de courant est réglée de manière à obtenir pour  $F_1$ ,  $F_2$  et  $F_3$  une valeur maximale  $F_{\max} = 1 \text{ N}$  ;  $\frac{F_{\max}}{m} = 200 \text{ N.kg}^{-1}$ .

### 5.3. Résolution de l'équation différentielle [2]

Utilisons l'opérateur booléen «>» du logiciel EQUADIFF pour écrire l'expression de la force  $F$  ; l'expression  $y_2 = y_1 > 1$  signifie  $y_2 = 1$  si  $y_1 \geq 1$  et  $y_2 = 0$  si  $y_1 < 1$ . L'opérateur «>» permet de dessiner des signaux rectangulaires à partir d'une sinusoïde.

Les expressions de  $\frac{F_1}{m}$ ,  $\frac{F_2}{m}$  et  $\frac{F_3}{m}$  sont :

$$\frac{F_1}{m} = 200 * \left( (1 - \cos(2 * \text{PI} * n * x)) > 1 \right)$$

$$\frac{F_2}{m} = 200 * \left( (1 - \cos(\text{PI} * n * x - \text{PI}/4)) > 1 \right)$$

$$\frac{F_3}{m} = 200 * \left( (1 - \cos(\text{PI} * n * x/2 - 1.5 * \text{PI}/4)) > 1 \right)$$

n désigne la fréquence et x le temps. n = 20 Hz. L'équation différentielle (2) s'écrit :

$$f = -5.31 \text{ E } 5 * y - p * z + \frac{F}{m}$$

$$f \leftrightarrow \ddot{y} ; z \leftrightarrow \dot{y} ; p \frac{h}{m} = 2 \alpha = 188 ; \frac{F}{m} = \frac{F_1}{m} + \frac{F_2}{m} + \frac{F_3}{m}$$

Calcul demandé : 600 points sur un intervalle de temps de 0,4 s.

La solution de l'équation différentielle est représentée par les courbes des figures 10 et 11.

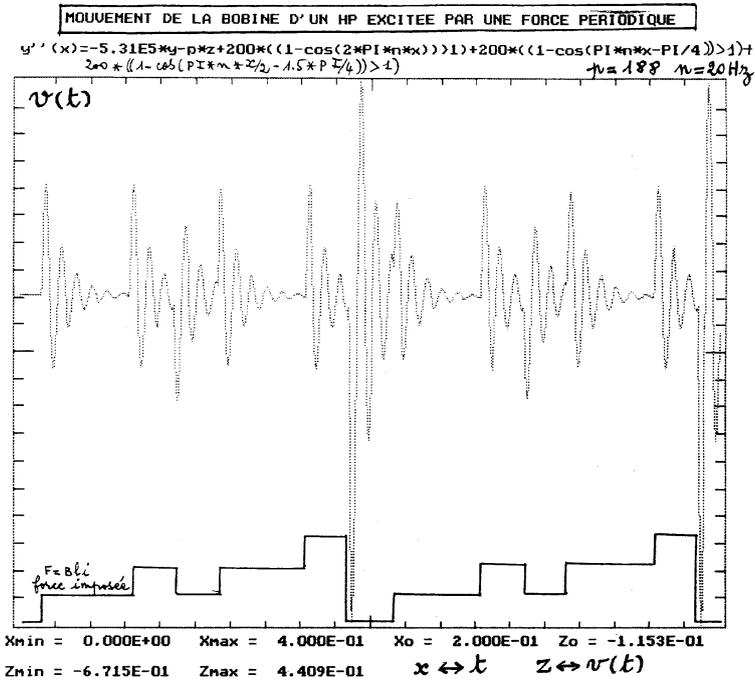


Figure 10

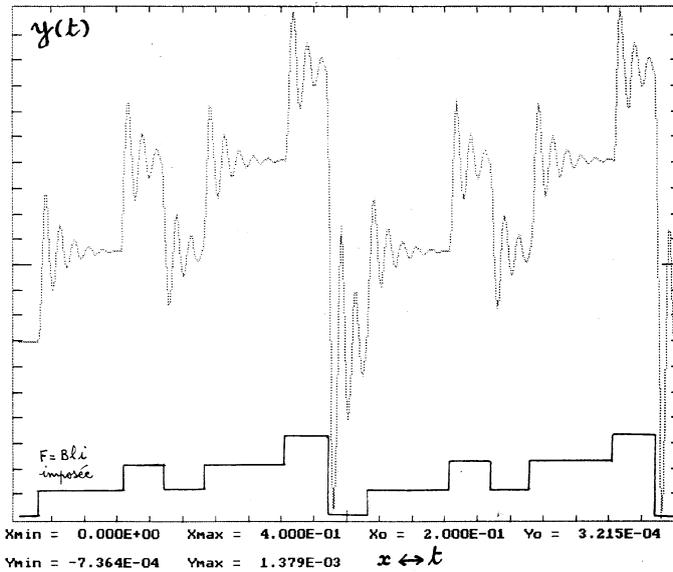


Figure 11

#### 5.4. Confrontation de la solution de l'équation différentielle aux résultats expérimentaux

La courbe  $y(t)$  de la figure 11 montre que la bobine du H.P. se met en oscillation chaque fois que la force  $F$  change brusquement de valeur ; les oscillations, amorties, s'effectuent autour de positions moyennes qui dépendent de la valeur de  $F$ , constante par intervalles. Les valeurs maximale et minimale de  $y(t)$  sont respectivement de 1,38 mm et  $-0,736$  mm ; ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles déterminées par d'autres méthodes [2].

La courbe  $v(t)$  de la figure 10 montre que la vitesse de la bobine varie comme la tension  $u_2$  qui apparaît aux bornes du microphone. Si on admet que la tension  $u_2$  est l'image de la pression acoustique détectée par le microphone, on peut expliquer le fait que les courbes  $v(t)$  et  $u_2(t)$  se ressemblent ; dans la théorie sur l'émission d'une onde acoustique par une membrane on établit en effet que la pression acoustique est proportionnelle à la vitesse des tranches de gaz. Les valeurs maximale et minimale de la vitesse sont respectivement  $0,441 \text{ m.s}^{-1}$  et  $0,671 \text{ m.s}^{-1}$ .

**5.5. Influence de l'amortissement de la bobine sur la forme du signal sonore capté par le microphone**

Considérons le même haut-parleur, mais avec un amortissement plus important de la bobine : donnons au paramètre  $p = \frac{h}{m}$  la valeur 1250 qui correspond approximativement au régime critique. La solution de l'équation différentielle est représentée par les figures 12 et 13.

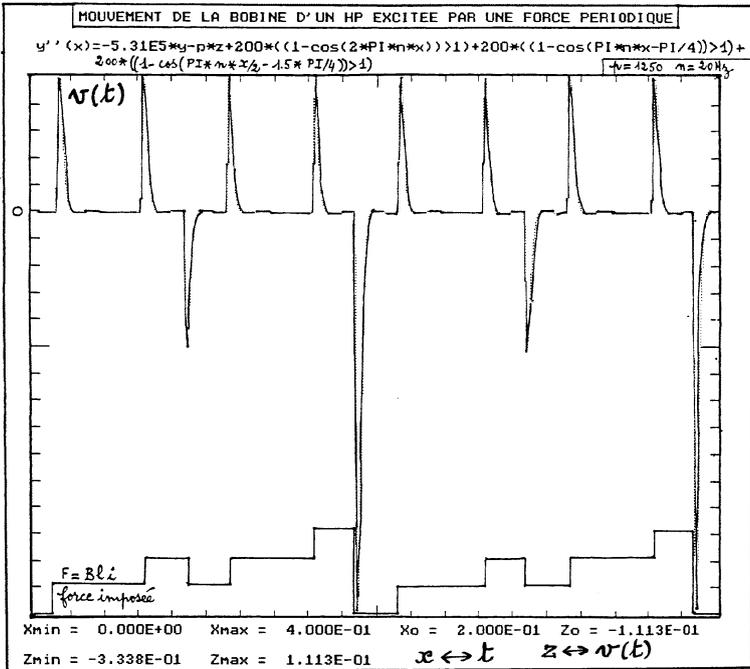


Figure 12

On constate que le déplacement  $y(t)$  de la bobine varie pratiquement comme la force  $F$  qui produit le mouvement. Les valeurs maximale et minimale de  $y(t)$  sont encore de l'ordre du mm : 1,13 mm et - 0,60 mm.

La pression acoustique détectée par le microphone varie comme la vitesse  $v(t)$  de la bobine du H.P. ; c'est le signal qu'on obtient effectivement lorsqu'on analyse le son émis par une enceinte Hi Fi de bonne qualité..

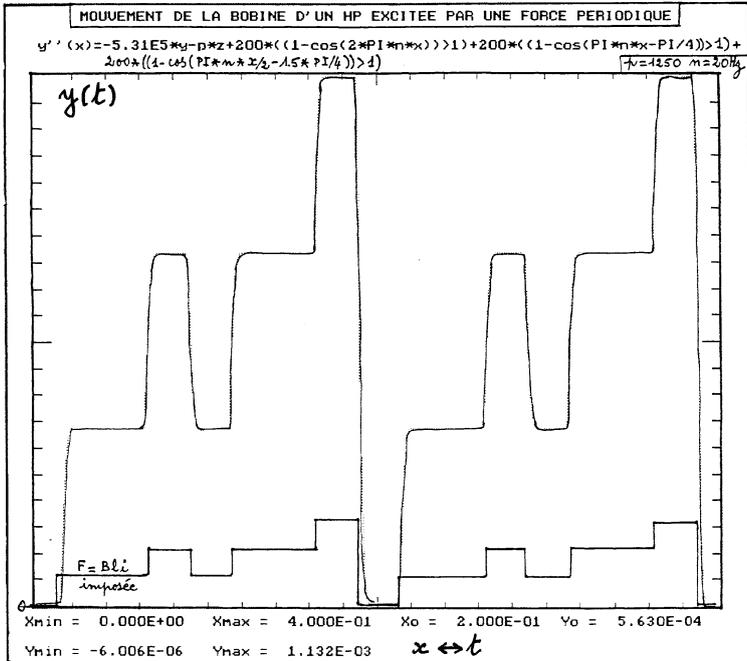


Figure 13

### 5.6. Conclusion

La tension complexe, obtenue par addition de tensions carrées, a donc permis de montrer que la tension aux bornes du microphone varie comme la vitesse de la membrane du H.P. alimenté par la tension complexe.

### BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. ALLARD - *Source de courant à fort débit* - B.U.P. n° 711.
- [12] R. ALLARD - *Oscillations libres et forcées de l'équipage mobile d'un haut-parleur* - B.U.P. n° 734.